

소성가공한 폐 벤토나이트를 혼화제로 사용한 모르타르의
물성에 관한 실험적 연구
- 간접냉각을 중심으로 -

An Experimental Study on Properties of Mortar use of
discarded Bentonite by Heat Treatment as Mineral admixture

장진봉* 김효열** 강병희***
Jang, Jin-Bong Kim, Hyo-Youl Kang, Byeung-Hee

Abstract

This study is the fundamental report to propose the capability of discarded Bentonite by heat-treatment as concrete mineral admixture.

The experiment is performed by flow test of mortar and by compressive strength of 7, 14, 28, 91 days.

As a result of experiment about mortar using discarded Bentonite by heat-treatment, in the case of 500°C, 600°C, 700°C, 800°C · 60min, compressive strength is superior to the every situation than plain Mortar.

Especially, in the case of 700°C · 60min, as strength activity index is measured by 109%, it can be applied as concrete mineral admixture.

But, flow of Mortar using discarded Bentonite by heat-treatment is decreased about 2.5cm in the case of 30min and about 1.7cm in the case of 60min.

1. 서론

벤토나이트는 부드럽고, 가소성이 있는 스멕타이트(smectite)로 구성된 밝은 색을 띠는 암석으로서, 양이온 치환성, 점결성, 수화 및 팽윤성 등의 특성이 있어 산업 전반에 걸쳐 이용되고 있다.

특히, 물과 접촉하면 팽창하는 팽윤특성을 이용하여 건설산업에서는 벤토나이트를 지하연속벽 및 지하차수벽 공사시 굴착공의 붕괴 방지를 위한 안정액으로서 널리 사용되고 있다.

그러나, 사용이 끝난 벤토나이트 폐액은 높은 함수율로 인해 직접 매립이 곤란하고, 방치시 토양 오염등의 환경문제를 유발하므로 그 처리가 매우 어렵다. 이러한 벤토나이트 폐액은 산업폐기물 관리법에 의거 특정 산업폐기물로 취급되어 처리되고 있다. 현재 건설현장에서 발생하는 벤토나이트 폐액은 지정 폐기물 처리장에서 단순 건조시켜 성토재로서 이용하고 있다.

본 연구에서는 벤토나이트가 다량의 규산과 알루미나를 함유한 물질이라는 점에 착안하여, 건설현장에서 사용이 끝난 폐 벤토나이트 슬러리를 탈수 후 고온 소성가공하여 콘크리트 혼화제로서의 활용가능성을 고찰하여, 폐 벤토나이트 슬러리의 재활용 기술개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 동아대학교 대학원 건축공학과 석사과정
** 정회원, 동아대학교 대학원 건축공학과 박사과정
*** 정회원, 동아대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험

2.1 실험계획

본 연구에서는 소성가공한 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 물성을 파악하기 위하여 폐 벤토나이트의 소성온도와 소성시간을 표 1.과 같이 설정하였다.

표 1. 실험인자 및 수준

실험인자		수준수
소성온도 (°C)	500, 600, 700, 800	4
소성시간 (분)	30, 60	2
냉각방식	간접냉각	1
계		8

2.2 모르터의 배합 및 공시체 제작

모르터의 배합은 중량배합으로 하였으며, 배합비 1:2.5, 물/분체비 50%, 폐 벤토나이트 치환율 10%로 하였다. 또한, 폐 벤토나이트 분말 첨가시 모르터의 유동성이 감소할 것을 고려하여, 고성능 감수제를 사용하였다.

공시체는 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ 크기의 원주형 몰드를 사용하여 KS F 5105(수경성 시멘트 모르터의 압축강도 시험방법)에 따라 제작하였으며, 다짐방법은 다짐봉을 사용하였다. 제작된 공시체는 KS F 2403에 의해 24시간 이후에 탈형을 하고, 양생조에서 각 재령별로 수증양생 하였다.

2.3 사용재료

가. 벤토나이트

벤토나이트의 사용전·후의 화학적 성분은 표 2.와 같다.

표 2. 벤토나이트 분말의 화학조성(%)

성분(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	기타
사용전	55.60	15.47	2.82	2.71	5.09	0.85	3.86	13.6
사용후	56.66	23.45	1.28	-	-	4.50	1.44	13.6

폐 벤토나이트 분말의 제작과정은 그림 1.과 같다.

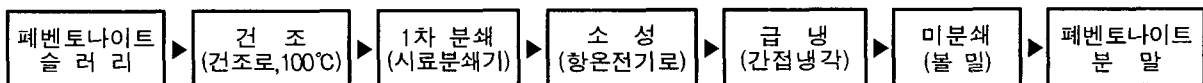


그림 1. 폐 벤토나이트 분말의 제작과정

제작된 폐 벤토나이트의 비중은 2.57, 입자크기는 #230을 이용하여 65 μm 이하로 하였다.

나. 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내 S사에서 생산한 보통 포틀랜드 시멘트이다.

라. 잔골재

본 실험에서 사용한 잔골재는 경남 합천산 강모래로서, 골재의 조립율은 2.52, 비중은 2.56, 최대입경은 5mm이다.

마. 혼화제

본 실험에 사용한 혼화제는 고성능 AE 감수제의 일종으로 폴리카루본산 에테르계의 복합체인 Rheobuild SP-8N을 사용하였다.

바. 사용수

본 실험에서는 불순물 등을 포함하지 않은 부산광역시 상수도 물을 사용하였다.

2.4 시험항목

페 벤토나이트를 사용한 모르터의 물성을 파악하기 위하여, 본 연구에서는 표 3.에 나타난 바와 같이 실험을 행하였다.

표 3. 시험항목 및 내용

시험항목	내용
Flow	페 벤토나이트 분말의 첨가에 따른 유동성 평가 (KS L 5105)
압축강도	페 벤토나이트 분말의 첨가에 따른 재령별 압축강도 발현특성 평가 (KS L 5105)
활성도 지수	$\frac{\text{페 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도}}{\text{플레인 모르터의 압축강도}} \times 100 (\%)$

3. 실험결과 및 분석

표 4. 시험결과

소성온도 (°C)	소성시간 (분)	Flow (cm)	압축강도 (kg/cm ²)			
			7일	14일	28일	91일
0	0	19.0	309	351	392	429
500	30	16.1	200	277	314	373
	60	17.6	216	323	369	459
600	30	16.5	210	278	318	421
	60	17.0	234	326	381	459
700	30	16.5	211	284	345	399
	60	17.1	287	344	373	468
800	30	16.5	248	326	333	423
	60	17.5	230	347	389	446

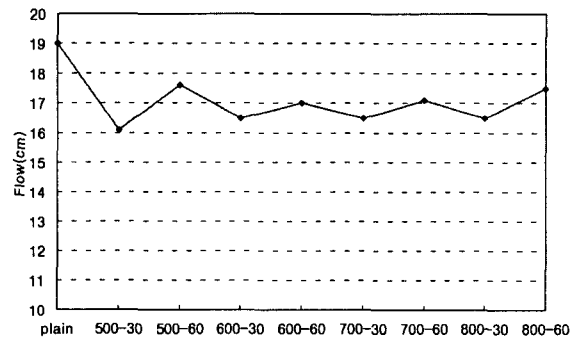


그림 2. 페 벤토나이트를 사용한 모르터의 플로우

3.1 플로우 (Flow)

페 벤토나이트 분말을 사용한 모르터의 소성온도와 시간에 따른 플로우의 변화는 표 4., 그림 2.와 같다.

페 벤토나이트 분말을 사용하지 않은 모르터 (이하 플레인 모르터)의 플로우는 19.0cm로 나타났으나, 페 벤토나이트 분말을 사용함에 따라 모든 조건에서 플로우가 감소하는 것으로 측정되었다.

소성시간 30분의 경우 소성온도 500°C의 플로우는 16.1cm로 나타나 플로우치의 감소가 큰 것으로 측정되었다. 소성온도 600°C, 700°C, 800°C의 플로우는 모두 16.5cm로 측정되어, 페 벤토나이트 분말을 사용함에 따라 플로우는 2.5cm 정도 감소하는 것으로 나타났다.

소성시간 60분의 경우 소성온도 500°C, 600°C, 700°C, 800°C의 플로우는 각각 17.6cm, 17.0cm, 17.1cm, 17.5cm로 측정되어, 페 벤토나이트 분말을 사용함에 따라 플로우는 평균 약 1.7cm 정도 감소하는 것으로 나타났다.

3.2 압축강도

(1) 소성온도 500°C

페 벤토나이트 소성온도 500°C의 경우 소성시간과 재령에 따른 압축강도의 변화는 그림 3.과와 같다.

소성온도 500°C의 경우 소성시간 30분, 60분 모두에서 재령이 길어짐에 따라 페 벤토나이트 분말을 사용한 모르터의 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다.

소성온도 500°C, 소성시간 30분의 경우 페 벤토나이트 분말을 사용한 모르터의 압축강도는 재령이 증가함에 따라 압축강도가 증진되는 것으로 나타났으나, 페 벤토나이트를 치환하지 않은 경우 (이하 플레인)에 비하여 전 재령에서 압축강도가 낮게 측정되었다.

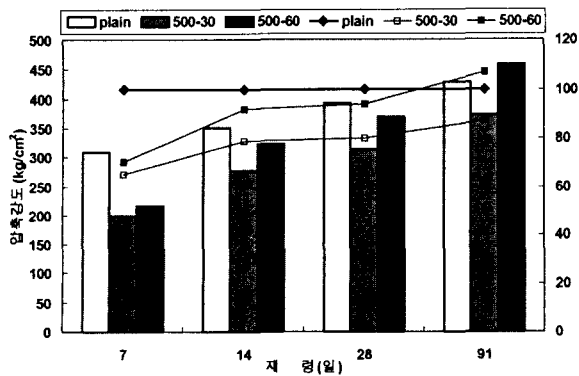


그림 3. 재령별 압축강도(소성온도 : 500°C)

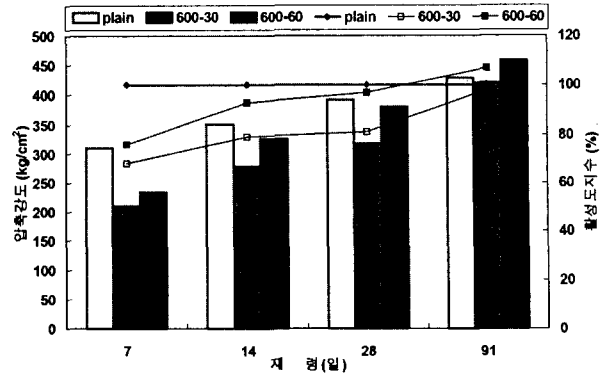


그림 4. 재령별 압축강도(소성온도 : 600°C)

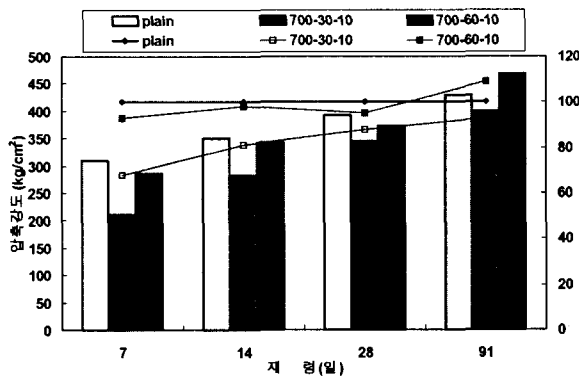


그림 5. 재령별 압축강도(소성온도 : 700°C)

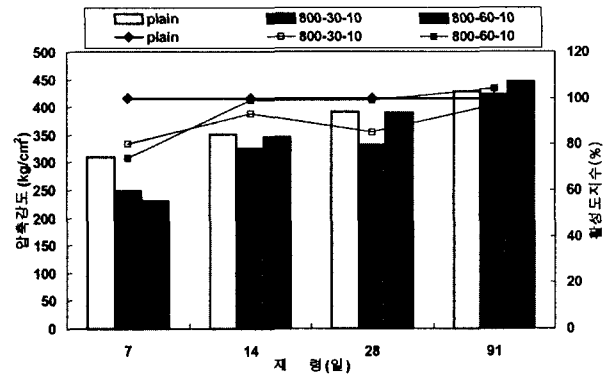


그림 6. 재령별 압축강도(소성온도 : 800°C)

소성온도 500°C, 소성시간 60분, 재령 7일의 경우 폐 벤토나이트를 치환한 모르터의 압축강도는 216kg/cm², 플레인의 압축강도는 309kg/cm²로 측정되어 폐 벤토나이트를 첨가함에 따라 모르터의 초기 압축강도가 크게 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 재령 14일에서 폐 벤토나이트를 치환한 경우는 플레인의 강도와 차가 감소하여, 재령 28일에서는 벤토나이트를 치환한 모르터의 압축강도는 369kg/cm², 플레인의 압축강도는 392kg/cm²로 측정되어 폐 벤토나이트의 첨가에 따른 압축강도의 감소가 적어지는 것으로 나타났다. 특히 재령 91일의 경우, 플레인의 경우는 429kg/cm², 폐 벤토나이트를 치환한 경우는 459kg/cm²으로 측정되어 플레인의 경우 보다 약 30kg/cm² 정도 강도가 증가하는 것으로 나타났다.

소성온도 500°C, 소성시간 60분의 경우 재령 7일, 14일, 28일의 활성화 지수는 각각 70%, 92%, 94%로 소성시간 30분의 경우에 비하여 강도발현정도가 큰 것으로 나타났으며, 특히 재령 91일의 플레인 압축강도 대비 활성화지수는 107%로 플레인 압축강도를 상회하는 것으로 측정되었다.

(2) 소성온도 600°C

소성온도 600°C의 경우 소성시간과 재령에 따른 압축강도의 변화는 그림 4.와 같다.

소성온도 600°C·소성시간 30분의 경우 재령 7일에서 플레인 압축강도는 309kg/cm²으로 나타났으나, 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 210kg/cm²로 나타나 초기재령의 압축강도 발현정도는 68%로 매우 낮게 측정되었다. 재령 14일, 28일의 경우 폐 벤토나이트 분말을 사용한 모르터의 활성화 지수는 각각 79%, 81%로서 플레인 압축강도의 약 80% 정도의 강도를 발현하는 것으로 측정되었다. 재령 91일의 경우 플레인 압축강도는 429kg/cm², 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 421kg/cm²로 측정되었다. 또한 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 활성화 지수는 98%로 나타나 폐 벤토나이트 분말을 사용한 모르터의 압축강도는 재령이 길어짐에 따라 플레인 압축강도와 차가 감소하는 것으로 측정되었다.

소성온도 600℃·소성시간 60분의 경우 재령 7일에서 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 234kg/cm², 플레인 압축강도는 309kg/cm²로 나타났으며, 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 활성화 지수는 76%로서 폐 벤토나이트 분말을 첨가함에 따라 압축강도의 감소가 큰 것으로 측정되었다. 재령 14일, 28일의 경우 폐 벤토나이트 분말을 사용한 모르터의 압축강도는 각각 326kg/cm², 381kg/cm², 활성화 지수는 각각 93%, 97%로서 플레인 압축강도에 비해 강도의 감소폭이 비교적 적은 것으로 측정되었다. 재령 91일의 경우 플레인 압축강도는 429kg/cm², 폐 벤토나이트 분말을 사용한 모르터의 압축강도는 459kg/cm²으로 나타나, 폐 벤토나이트 분말을 사용한 모르터의 압축강도가 플레인 모르터의 압축강도에 비하여 약 30kg/cm² 정도 높게 측정되었다. 재령 91일에서의 소성온도 600℃·소성시간 60분의 경우 활성화 지수는 107%로 나타나, 플레인 모르터에 비하여 약 7% 정도 강도가 증진되는 것으로 측정되었다.

(3) 소성온도 700℃

소성온도 700℃의 경우 소성시간과 재령에 따른 압축강도의 변화는 그림 5.와 같다.

소성온도 700℃·소성시간 30분의 경우 재령 7일에서 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 211kg/cm²로 플레인 모르터의 압축강도 309kg/cm²에 비하여 약 68%의 강도만을 발휘하는 것으로 나타났다. 재령 14일의 경우 플레인 모르터의 압축강도는 351kg/cm², 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 284kg/cm²로 측정되어 재령 7일에 비하여 강도의 증진 비율이 비교적 큰 것으로 나타났다. 재령 28일의 경우 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 345kg/cm²로 측정되었으며, 이 때의 활성화 지수는 88%로서 초기재령에 비하여 플레인 모르터의 압축강도와의 차가 감소하는 것으로 나타났다. 재령 91일의 경우 플레인 모르터의 압축강도는 429kg/cm², 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 399kg/cm²로 측정되었다. 또한 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 활성화 지수는 93%로서 초기 재령에 비해 플레인 모르터의 압축강도와의 차가 크게 감소하였으나, 플레인 모르터의 압축강도에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

소성온도 700℃·소성시간 60분의 경우 재령 7일에서 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 287kg/cm²로 플레인 모르터의 압축강도에 비하여 약 93%의 강도를 발휘하는 것으로 나타났다. 재령 14일, 28일의 경우 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 각각 344kg/cm², 373kg/cm², 활성화 지수는 각각 98%, 95%로 나타나 플레인 모르터의 압축강도에 비해 압축강도의 감소가 적은 것으로 측정되었다. 재령 91일의 경우 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 468kg/cm²로 플레인 모르터의 압축강도 429kg/cm²에 비하여 약 39kg/cm² 정도 높게 나타났다. 재령 91일에서의 활성화 지수는 109%로서 플레인 모르터의 압축강도에 비하여 약 9% 정도 압축강도가 증진되는 것으로 측정되어, 콘크리트 혼화재로서의 적용성이 가장 큰 것으로 나타났다.

(4) 소성온도 800℃

소성온도 800℃의 경우 소성시간과 재령에 따른 모르터의 압축강도는 그림 6.과 같다.

소성온도 800℃·소성시간 30분의 경우 재령 7일에서 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 248kg/cm², 플레인 모르터의 압축강도는 309kg/cm²로 나타나 폐 벤토나이트를 혼입함에 따라 약 20%정도 압축강도가 저하하는 것으로 측정되었다. 재령 14일, 28일의 경우 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 326kg/cm², 333kg/cm²로 나타났다. 재령 14일의 경우 활성화 지수는 93%로 나타나 재령 14일의 경우에는 플레인 모르터와의 압축강도의 차가 적은 것으로 측정되었다. 그러나 재령 28일에서는 활성화 지수가 85%로 나타나 압축강도의 차가 비교적 큰 것으로 측정되었다. 재령 91일의 경우 플레인 모르터의 압축강도는 429kg/cm², 폐 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 423kg/cm², 활성화 지수는 97%로 나타나, 재령이 길어짐에 따라 폐 벤토나이트의 혼입에 따른 압축강도의 감소가 적은 것으로 측정되었다.

소성온도 800℃ · 소성시간 60분의 경우 재령 7일에서 페 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 230kg/cm²로 플레인 모르터의 압축강도 309kg/cm²에 비하여 약 79kg/cm² 정도 낮은 것으로 측정되었다. 재령 14일, 28일의 플레인 모르터의 압축강도는 각각 351kg/cm², 392kg/cm²로 측정되었으며, 페 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 각각 347kg/cm², 389kg/cm²로 나타나 페 벤토나이트의 혼입에 따른 강도의 차는 거의 없었다. 재령 91일에서 플레인 모르터의 압축강도는 429kg/cm²로 나타났으나, 페 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 446kg/cm²로 측정되어 약 17kg/cm² 정도 압축강도가 높은 것으로 나타났다. 또한 재령 91일에서의 페 벤토나이트를 사용한 모르터의 활성화 지수는 104%로서 플레인 모르터의 압축강도에 비하여 약 4% 정도 강도가 증진하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

온도와 시간에 따라 소성가공(간접냉각)한 페 벤토나이트를 혼화재로 사용한 모르터의 플로우와 재령에 따른 압축강도 시험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 소성가공(간접냉각)한 페 벤토나이트를 사용한 모르터의 플로우는 소성시간 30분의 경우 평균 약 2.5cm, 소성시간 60분의 경우는 평균 약 1.7cm 정도 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 페 벤토나이트 소성온도 500℃ · 소성시간 60분의 경우 재령 91일의 압축강도는 459kg/cm²로 측정되어, 플레인 압축강도에 비해 약 7%정도 강도가 증진하는 것으로 나타났다.
- 3) 페 벤토나이트 소성온도 600℃ · 소성시간 60분의 경우 재령 91일에서의 압축강도는 플레인 모르터의 압축강도를 약 7% 정도 상회하는 것으로 나타났다.
- 4) 페 벤토나이트 소성온도 700℃ · 소성시간 60분의 경우 전 재령에서 활성화 지수가 약 95%이상으로 측정되었으며, 재령 91일의 경우 페 벤토나이트를 사용한 모르터의 압축강도는 468kg/cm², 활성화 지수는 109%로서 플레인 모르터의 압축강도에 비하여 약 9% 정도 압축강도가 증진되는 것으로 나타났다.
- 5) 페 벤토나이트 소성온도 800℃ · 소성시간 60분의 경우 재령 91일에서 페 벤토나이트를 사용한 모르터의 활성화 지수는 104%로서 플레인 모르터의 압축강도에 비하여 약 4% 정도 강도가 증진하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 바탕으로 소성가공한 페 벤토나이트는 콘크리트 혼화재로서의 적용이 가능하다고 사료되며, 적정 소성온도는 500℃~700℃, 소성시간은 60분이 적합할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. F. M. Lea, The Chemistry of Cement and Concrete, Chemical Publishing Company, 1971
2. P. Kumar Mehta, Concrete, The McGraw-Hill Companies Inc., 1993
3. 本多淳裕 · 山田 優, 建設副産物 · 廢棄物のリサイクル, 省エネルギーセンター, 1994
4. 변근주, 혼화재료, 한국레미콘공업협회, 1990
5. 노진환 외, 벤토나이트와 그 응용, 산업광물은행 · 한국과학재단, 2000
6. 이종근, 무기재료원료공학, 반도출판사, 1995